

(6-31G), отсутствует четко выраженный энергетический минимум. Это означает, что деформация ЭЯ ведет к нарушению устойчивости системы.

Результаты расчета параметров обменного взаимодействия в ЭЯ кристалле  $\alpha$ -железа как функций относительного расстояния  $\delta$  показали, что, например, для спинового состояния  $S = 3$  (мультиплетность  $M = 7$ ) оба использованных базиса показывают монотонный рост энергии обменного взаимодействия с увеличением  $\delta$ . Причем при  $\delta = 0.01$  (STO-3G), 0.1 (6-31G) наблюдается смена знака параметра обменного взаимодействия  $J$  (рис. 1). Это означает возможность деформационного фазового перехода типа «ферромагнетик - антиферромагнетик».

Полученные результаты свидетельствуют о возможности управления магнитным упорядочением в ОЦК кристалле  $\alpha$ -железа с помощью механических деформаций.

Список публикаций:

- [1] Гуляев А.П. *Металловедение*. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
- [2] Вонсовский С.В. *Магнетизм*. М.: Наука, 1971. 1032 с.
- [3] Бухараев А. А., Звездин А. К., Пятко А. П., Фетисов Ю. К. // УФН. 2018. Т. 188. № 12. С. 1288.
- [4] Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. *Теория строения молекул*. Ростов-на-Дону: Феникс, 1997. 560 с.

## **Перспективные технологии снижения размагничивания линейной части магистрального трубопровода**

**Якшибаев Булат Робертович**

*Загидуллин Ринат Васикович, Бакиев Тагир Ахметович*

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

*Бакиев Тагир Ахметович*

*Yakshibayev@mail.ru*

В процессе эксплуатации металл магистральных стальных трубопроводов приобретает остаточную намагниченность. Она может быть обусловлена различными причинами: за счет влияния магнитного поля магнитных очистных скребков и магнитных систем внутритрубных магнитных снарядов-дефектоскопов, случайного воздействия сторонних источников магнитных полей, а также при проведении электрической сварки стыков стальных труб и т. д.

В общем случае остаточная намагниченность металла стальных трубопроводов распределяется неоднородно, как по длине, так и по периметру стальной трубы (напряженность поля остаточной намагниченности, измеренная около кромки по периметру стальной трубы, может отличаться от среднего значения на 30%...80%), при этом в ряде случаев она может иметь весьма значительную величину. Последнее относится к магнитному состоянию стального трубопровода после магнитной дефектоскопии, когда металл стальной трубы намагничивается до состояния, близкого к техническому насыщению, что необходимо для обеспечения надежного выявления поверхностных и внутренних дефектов сплошности металла на фоне [1].

После технологических операций, при которых возникает остаточная намагниченность стального трубопровода, должно осуществляться последующее размагничивание металла проконтролированного линейного участка стального трубопровода. Это базовый принцип неразрушающих методов контроля материалов и изделий: до и после проведения неразрушающего контроля промышленного объекта, изделия, его технические параметры (форма, линейные размеры) и физические свойства (механические, электрические и магнитные) должны оставаться неизменными.

В связи с этим следует отметить негативное влияние остаточной намагниченности стального трубопровода при его дальнейшей эксплуатации:

1. Полностью или частично меняется магнитное состояние стального трубопровода, сформированное при сложном напряженном состоянии металла в слабом геомагнитном поле. Это обстоятельство практически исключает дальнейший дистанционный магнитометрический контроль напряженного состояния металла подземного стального трубопровода, так как результаты магнитометрического контроля будут иметь низкую надежность [2];

2. Существенно затруднена электрическая сварка кольцевых сварных соединений стальных труб при проведении ремонтно-восстановительных работ на дефектном участке стального трубопровода.

Взаимодействие тока электрической дуги и сильного поля остаточной намагниченности металла внутри разделки стальных труб приводит к неустойчивости дуги сварки и к разбрызгиванию металла (эффект магнитного дутья), и вследствие этого невозможно добиться высокого качества сварного соединения;

3. Происходит ускоренная эрозия внутренней поверхности стального трубопровода из-за увеличения силы трения инородных магнитных частиц, неизбежно присутствующих в перекачиваемом нефтепродукте за счет сил магнитного притяжения к поверхности металла и т. д.

Существуют переносные установки для размагничивания локальных участков трубопровода, но они применяются преимущественно при проведении ремонтно-восстановительных работ, и не могут размагнитить металл линейного участка стального трубопровода, достигающего несколько сот километров.

С другой стороны, применение этих установок в полевых условиях неудобно - они имеют значительные габариты и вес, требуют значительного времени на процесс монтажа-демонтажа и размагничивания, а также требуют энергоснабжения (вплоть до 380 В и 50 Гц).

Очевидно, что указанные факторы, связанные с устранением остаточной намагниченности после внутритрубной диагностики, приводят к существенным финансовым потерям эксплуатирующей организации.

В настоящее время существуют новые технологии размагничивания стального трубопровода, реализуемые как в виде переносных устройств для размагничивания локальных участков, так и в виде внутритрубных размагничивающих устройств, способных размагнитить весь линейный участок стального трубопровода [1, 3]. Они основаны на компенсации поля остаточной намагниченности стального трубопровода приложенным постоянным магнитным полем обратного направления, имеющего строго определенную величину, необходимую для достижения необходимого уровня максимальной остаточной намагниченности в металле.

На рис.1 показан размагничивающий комплект для стальных изделий и труб РК-02, который применяется для размагничивания локальных участков стального трубопровода, в частности зоны стыка при электрической сварке труб [3]. В нем реализован способ компенсации поля остаточной намагниченности металла с помощью встречного постоянного магнитного поля, создаваемого магнитными компенсаторами. Для создания постоянного магнитного поля в них используются постоянные магниты с большой магнитной энергией, что не требует наличия стороннего источника электрической энергии.



рис.1. Размагничивающий комплект для стальных изделий и труб РК-02

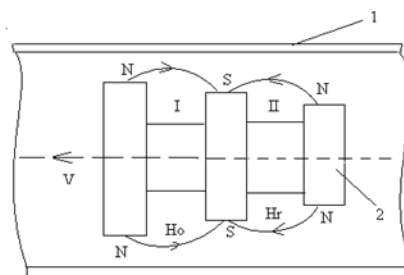


рис.2. Схема магнитной системы устройства внутритрубного размагничивания  
1 - стальной трубопровод, 2 – магнитная система

Эта технология позволила создать малогабаритное энергонезависимое размагничивающее устройство, лишенное недостатков, присущих существующим переносным установкам.

Разработана технология размагничивания стального трубопровода внутритрубным размагничивающим устройством (рис.2). В отличие от существующих моделей, она имеет эффективную магнитную систему, основанную на несимметричном цикле перемагничивания металла, обеспечивающей размагничивание стального трубопровода до нормативного значения остаточной намагниченности металла [1].

При несимметричном цикле перемагничивания вначале металл стальной трубы доводится магнитным полем с напряженностью  $H_0$  до магнитного насыщения, затем размагничивается магнитным полем обратного направления  $H_r$ .

Список публикаций:

- [1] Загидулин Р.В., Якишибаев Б.Р., Загидулин Т.Р. Исследование и расчет устройства внутритрубного размагничивания стального трубопровода (УВР). Часть 2. Расчет магнитной системы внутритрубного размагничивающего устройства. – Контроль. Диагностика, 2010, № 1, с.11-17.
- [2] Загидулин Р.В., Загидулин Т.Р., Коннов В.В. К вопросу дистанционного магнитометрического контроля стального трубопровода. Часть 1. К измерению напряженности магнитного поля над стальным трубопроводом в геомагнитном поле. - Контроль. Диагностика, 2015, №1, с.23-32.
- [3] Мужичкий В.Ф., Кудрявцев Д.А., Загидулин Р.В. Комплект для размагничивания локального участка стыка труб перед сваркой РК – 02.- Контроль. Диагностика, 2004, №7, с.21-22.